

IPv6 für kleine Netze

Erfahrungen mit dem neuen Internet-Protokoll unter Linux, Mac OS X, Windows XP und Vista

Reiko Kaps - 12.11.07



Der Nachfolger des aktuellen Internetprotokolls sollte die globalen Netze vor der Verknappung nutzbarer Adressen bewahren. Die Entwickler haben allerdings noch weit mehr eingebaut, sodass IPv6-Netze besser und unkomplizierter zu verwalten sind. Nachdem mittlerweile alle nennenswerten Betriebssysteme IPv6 sprechen, wagen wir einen Versuch, das neue Protokoll in einem lokalen Netzwerk einzusetzen.

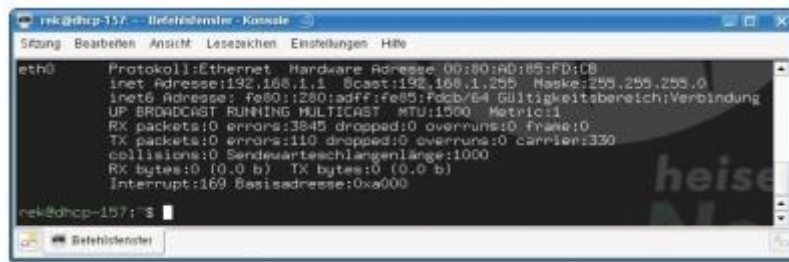
Das Internetprotokoll der nächsten Generation (IPv6) adressiert unvorstellbare Mengen an Computern und Netzwerkgeräten – eine ausführliche Beschreibung liefert der Beitrag Das Mega-Netz auf heise Netze. Außerdem verspricht ein erster Blick auf das Protokoll eine einfache und quasi automatische Einrichtung von Netzwerken – anders als bei IPv4 kommt es ohne eine zentrale Vergabestelle für gültige Adressen in einem LAN aus.

Um Kollisionen von Adressen zu beheben, überprüfen IPv6-Rechner selbstständig, ob ihre Adresse in Netz bereits benutzt wird. Zudem entsorgt IPv6 die aus IPv4 bekannte Netzwerkmaske und Broadcast-Adressen, was die Zahl der Fehlerquellen bei der Netzwerkeinrichtung nochmals senkt. Diese Gründe und die Tatsache, dass das Protokoll mit den aktuellen Betriebssystemen frei Haus geliefert wird, machen Lust auf erste Versuche mit IPv6 in einem kleinen Netz. Ein Test-LAN mit Linux, Mac OS X, Windows XP und Vista soll zeigen, wie die Betriebssysteme mit dem Protokoll umgehen und was für Dienste sie darin anbieten und nutzen können.

Alle aktuellen Betriebssysteme bringen die Unterstützung für IPv6 mit. Da die Vorgängerversion IPv4 alles andere als überflüssig ist, besitzen Windows, Mac OS X und Linux einen sogenannten Dual-Stack für TCP/IP, der beide Protokoll-Versionen parallel anbietet.

IPv6 eingebaut

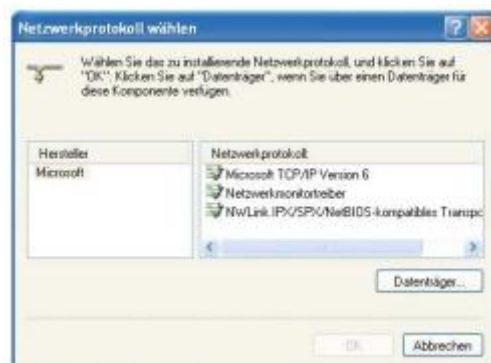
Ein aktuelles Windows XP mit Service Pack 2 enthält das IPv6-Protokoll, man muss es aber von Hand aktivieren. In Windows Vista ist es ab Werk eingeschaltet. Gleiches gilt für Ubuntu, OpenSuse und Mac OS X, das sich ohne Zusatz-Software in einem IPv6-Netz zurechtfindet.



Das Linux-Kommando `ifconfig` zeigt, dass der Rechner das IPv6-Protokoll unterstützt. Die Netzwerkkarte (`eth0`) besitzt eine verbindungslokale IPv6-Adresse. Ⓡ Ob das Betriebssystem tatsächlich mit IPv6 umgehen kann, lässt sich per Einrichtung dialog oder Kommandozeile auf allen genannten Systemen schnell ermitteln: Unter Windows XP genügt ein Blick in die Eigenschaften der Netzwerkkarte. Taucht dort das Protokoll auf, ist es aktiv. Der Installieren-Knopf in diesem Dialog fügt es bei Bedarf hinzu. Wenn ein Aufruf von `ipconfig` auf der Windows-Eingabeaufforderung eine Zeile wie beispielsweise "Verbindungslokale IPv6-Adresse: fe80::9dfc:7fe:e8ef:4b3f%8" anzeigt, bringt Windows XP alle Voraussetzungen für IPv6 mit.



Das Einrichtungswerkzeug Yast unter OpenSuse kann auf den ersten Blick IPv6 nur ein- oder ausschalten. Für fest vergebene Adressen muss man das Feld für IPv4-Adressen nutzen. Ⓡ Die Unterstützung für IPv6 lässt sich auf allen Linux-Fassungen schnell überprüfen, wenn man das Programm `/sbin/ifconfig` auf einer Unix-Shell aufruft. Alternativ zeigt das Kommando `/sbin/ip -6 addr` showebenfalls die IPv6-Einstellungen an.



Unter einem aktuellen Windows XP muss IPv6 von Hand aktiviert und konfiguriert werden.

Ellenlange Zahlen

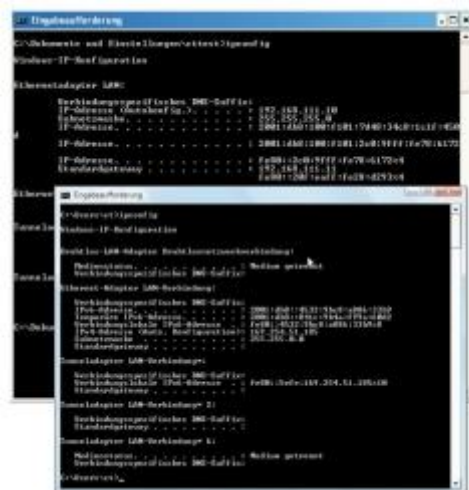
IPv4- und IPv6-Adressen unterscheiden sich in ihrer Länge und ihrer Notation. IPv4-Adressen sind 32 Bit lang, aufgeschrieben werden sie üblicherweise als Dezimalzahlen von 0 bis 255 (acht Bit) zwischen denen je ein Punkt steht. Beim Nachfolge-Protokoll vervierfacht sich die Adresslänge auf 128 Bit, was eine Dezimalschreibweise sehr unübersichtlich macht. Daher nutzt man Hexadezimalzahlen und unterteilt die Folge in Gruppen mit je 16 Bit, die durch Doppelpunkte getrennt werden.


Selbst diese Schreibweise produziert noch sehr lange Adressen, doch vereinfachen einige Regeln den Umgang: Führende Nullen in den Zahlenblöcken können wegfallen. Pro Adresse kann man eine zusammenhängende Folge aus Nullen ebenfalls streichen und durch zwei aufeinanderfolgende Doppelpunkte ersetzen. Durch die Kürzung wird die vollständige Adresse 2001:0db8:f1f1:0100:0000:0000:feed:0001 zu 2001:db8:f1f1:100::feed:1, die – nach etwas Gewöhnung – besser im Kopf bleibt.

Die variierenden Netzwerkmasken aus IPv4 gibt es im neuen Protokoll nicht mehr. Adressbereiche und Subnetze gibt man mit einem Anhängsel an, der durch einen Schrägstrich (/) vom Rest der Adresse getrennt wird. Üblicherweise adressieren in IPv6 die ersten 64 Bit das Netz, der Rest den Host. Die IPv6-Adresse 2001:db8:feed:f101::feed:1 bezieht sich daher auf das Netz 2001:db8:feed:f101/64. In der Ausgabe des Windows-Hilfsmittels ipconfig steht am Ende dieser Adressen außerdem ein Prozentzeichen und eine weitere Nummer, die die Schnittstelle kennzeichnet (Interface-ID).

Kabel rein und los?

Das kommende Internetprotokoll adressiert nicht mehr nur Geräte, sondern verspricht auch eine vereinfachte Einrichtung des Netzwerks. Es unterteilt die Knoten eines Netzes in zwei Gruppen: Router, die fremde Pakete annehmen und weiterleiten, und Hosts, zu denen alle anderen Knoten gehören. Die Unterscheidung ist wichtig, denn während Router die Netzwerk-Präfixe verwalten und eine feste Adresse besitzen, wählen die Hosts die Kennung für ihre Netzwerkkarten selbst aus. IPv6-Adressen beziehen sich immer explizit auf einen Gültigkeitsbereich (Scope), wobei jede Karte mehrere Adressen besitzen kann. Auf Rechnern mit IPv6-Netzwerkunterstützung findet man nach dem Start mindestens eine Adresse, die sich auf den Bereich der Verbindung (link-local oder verbindungslokal) bezieht und die mit dem Präfix fe80::/64 beginnt. Diesem Adressvorspann folgen 64 Bit, die der Host aus der Hardware-Adresse der Netzwerkkarte ableitet.



Die Ausgabe von ipconfig unter Windows XP verschweigt den Gültigkeitsbereich der IPv6-Adressen.  Mit dieser verbindungslokalen Adresse können IPv6-Rechner innerhalb eines LAN kommunizieren. So kann man beispielsweise ICMP-Nachrichten mit dem Linux-Befehl `ping6 -I eth0 LINKLOCAL-ADRESSE` oder unter Windows mit `ping -6 LINKLOCAL-ADRESSE%INTERFACE-ID` senden und empfangen. Die Angabe der Netzwerkkarte per Parameter oder der Interface-ID ist notwendig, denn verbindungslokale Adressen besitzen auf allen Netzwerkkarten des Rechners das gleiche Präfix fe80::/64. Der Rechner weiß daher nicht, über welche Schnittstelle er die Pakete senden soll, denn das Präfix bezeichnet wie unter IPv4 ein Netzwerk. Dienste im Netzwerk funktionieren damit allein noch nicht. Über die verbindungslokale Adresse erhält der Host Informationen über die Anwesenheit von anderen IPv6-Hosts und -Routern. Der Rechner benötigt deshalb eine Adresse, die im LAN erreichbar ist und in der IPv6-Notation dem globalen Gültigkeitsbereich zugerechnet wird (Global Scope).

Nischen fürs LAN der nächsten Generation

Um dauerhaft nutzbare Adressen zu erhalten, gibt es drei Methoden: Man kann sich – zum Beispiel auf dieser Liste echter IPv6-Anbieter – einen DSL-Provider suchen, der Netzwerk-Präfixe für IPv6 bereitstellt. Gültige Netzwerk-Präfixe verteilen auch die Tunnel-Provider sixxs oder go6, die IPv6-Daten durch IPv4-Verbindungen leiten. Will man nicht ins Internet, kann man fürs Erste einen reservierten Adress-Präfix auswählen. Bekommt man später ein im Internet gültiges Präfix zugeteilt, ist die Umstellung sehr einfach.

Die für abgegrenzte Bereiche reservierten sogenannten Unique Local Addresses (ULA), wie sie das RFC 4193 beschreibt, bieten ähnliche Funktionen wie private IPv4-Adressen. Im Unterschied zu ihren IPv4-Verwandten sollen sie jedoch weltweit eindeutig sein – Network Address Translation entfällt bei IPv6 vollständig. Die Autoren des Standards unterschieden dabei selbsterzeugte und global durch das RIPE zugewiesene Adressbereiche – letztere beginnen mit den Ziffern fc. Das Präfix fd markiert selbsterzeugte Adressbereiche, die um eine zufällig erzeugte 40 Bit lange Site-Kennung und eine willkürlich gewählte Subnetz-ID erweitert wird. Bei der Berechnung dieser Zahlen hilft ein kleines Shell-Skript, das beispielsweise das Präfix "fddc:1e7f:30ce::/48" ausgibt. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind diese Adressen weltweit eindeutig. Router sollen diese Adressen trotzdem nur innerhalb von abgegrenzten Standorten (Sites) wie beispielsweise Firmennetzen und zwischen ihnen weiterleiten, jedoch nicht im globalen Internet. Der Begriff Site ist allerdings nicht eindeutig definiert.


Das IPv6-Präfix 2001:db8::/32 ist eigentlich für Dokumentationszwecke gedacht ([RFC 3849](#)). Da es laut dem Asia Pacific Network Information Center (APNIC) niemals im Internet geroutet werden soll, eignet es sich für erste Gehversuche in einem LAN, das nicht per IPv6 ans Internet angeschlossen ist. Wir nutzen deshalb im Artikel dieses Präfix, zumal es vergleichsweise kurz ist. Bei manueller Vergabe von IPv6-Adressen kann das ein Vorteil sein. Will man später auf ein anderes Präfix wechseln, sollte man allerdings die Möglichkeiten zur automatischen Konfiguration nutzen. Eine einzige Änderung auf dem Router schaltet dann das Netzwerk auf ein neues Netzwerk-Präfix um:

Damit ein Host eine gültige Adresse erzeugt, muss ein Router ihm mitteilen, welches Adress-Präfix er innerhalb des LAN nutzen soll. Diese Art der Adressverteilung nennt sich Stateless Auto-Configuration und unterscheidet sich von dem unter IPv4 bekannten [DHCP](#)-Protokoll: Mit Hilfe der verbindungslokalen Adresse sendet der Host an die [Multicast](#)-Adresse ff02::2 eine Bitte (Solicitation Message), ihm einen IPv6-Präfix mitzuteilen.

Netzwerk-Diplomatie

Der LAN-Router antwortet auf die Solicitation Message mit einer Ankündigung (Advertisement-Message), die ein Adress-Präfix für dieses Netzwerk enthält. Daraus und aus der Hardware-Adresse seiner Schnittstelle erzeugt der Host seine IPv6-Adresse. Er prüft nun durch eine Anfrage im Netz, ob die Adresse bereits in LAN belegt ist (Duplicate Address Detection, [RFC 4862](#)). Ist die Adresse frei, weist der Host die Adresse der Schnittstelle zu und aktiviert sie.



Ubuntu-Linux hat seine IPv6-Adresse automatisch von einem Router erhalten. Der globale Gültigkeitsbereich in der Ausgabe des Kommandos `ifconfig` zeigt das an.  Ein Rechner, der als Router arbeiten soll, benötigt eine statische IPv6-Adresse. Auf einem Debian- oder Ubuntu-System mit einer Netzwerkkarte erweitert man dazu die Datei `/etc/networks/interfaces` um die Zeilen

```
iface eth0 inet6 static
    address 2001:0db8::1
    netmask 64
```

und startet das Netzwerk mit dem Befehl `/etc/init.d/networking restart` neu. Für die Verteilung des Präfix (Advertisement) ist unter Linux das Programm `radvd` zuständig, das mit `apt-get install radvd` unter Debian und Ubuntu installiert wird. Die Einrichtungsdatei `/etc/radvd.conf` muss vor dem ersten Start wenigstens folgende Einträge enthalten:

```
interface eth0 {
    AdvSendAdvert on;
```

```
prefix 2001:db8::0/64
{
};
};
```

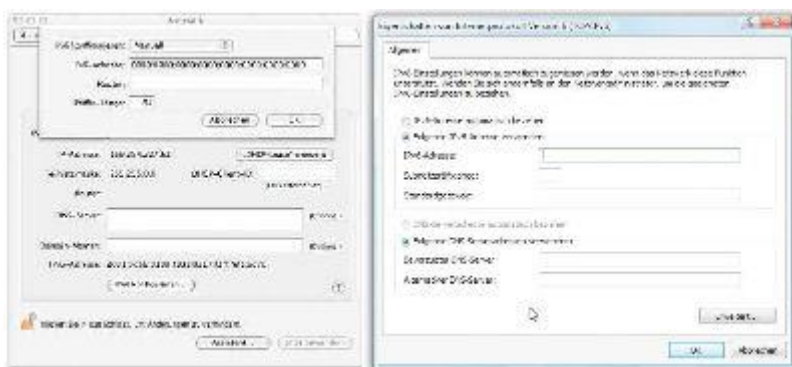
Der Eintrag `prefix` in der dritten Zeile enthält den verwendeten Netzwerkbereich, der bei Bedarf jederzeit änderbar ist. Auf dem Rechner muss außerdem das Forwarding für IPv6 aktiviert sein, denn sonst scheitert der Start von `radvd`. Der Wert 1 in der System-Variable `/proc/sys/net/ipv6/conf/all/forwarding` schaltet dieses Verhalten für alle Netzwerkkarten im System ein. Das Ubuntu-Startskript für `radvd` setzt die Einstellung selbstständig. Andere Linux-Ausgaben wie OpenSuse 10.2 steuern das Forwarding beispielsweise über Einträge in `/etc/sysconfig/`. Zur Not schaltet in einer Root-Shell das Kommando `echo "1" > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/forwarding` die Weiterleitung bis zum nächsten Neustart ein.

Ist das Router-Programm per `/etc/init.d/radvd start` erfolgreich gestartet, verteilt `radvd` sofort das Adress-Präfix an angeschlossene IPv6-Rechner. Steckt man einen neuen Rechner ans LAN, kann es einige Sekunden bis Minuten dauern, bis er eine globale Adresse erzeugt hat.

Ist man im Besitz eines Heim-Routers, der mit Router-Linux-Distributionen wie OpenWRT kompatibel ist, kann man die schlanke Software dort arbeiten lassen. Das Programm `radvd` steht als Zusatz-Software zum Download bereit. Die Variante DD-WRT bringt es bereits mit – ein Beitrag im Wiki des Projekts erklärt die Einrichtung.

Windows als Routenplaner

Auch Windows XP ab Service-Pack 2 und Windows Vista können IPv6-Präfixe verteilen. Die Einrichtung erfolgt mit dem Programm `netsh`, dessen Kommandos standardmäßig persistent sind, also über einen Neustart des Rechners hinaus erhalten bleiben.



Die Dialoge von Mac OS X und Windows Vista erlauben die komfortable Eingabe von statischen Adressen. Bei anderen Betriebssystemen muss dafür meist die Kommandozeile herhalten. ☹ Eine statische IPv6-Adresse vergibt man unter Vista mit dem Einrichtungsgdialog, der sich hinter dem Punkt "Status anzeigen" der Netzwerkkarte im Netzwerk- und Freigabecenter versteckt. Alle weiteren Kommandos muss man auf einer Eingabeaufforderung eingeben, die mit Administratorrechten läuft. Unter XP setzt folgende Eingabe in die Kommandozeile eine IPv6-Adresse:

```
netsh interface ipv6 set address "LAN-Verbindung" 2001:db8::1
```

Der Wert "LAN-Verbindung" bezieht sich dabei auf die verwendete Netzwerkverbindung, deren Name von System zu System wechseln kann. Ein Aufruf des Kommandos `ipconfig` zeigt die Bezeichnungen der Schnittstellen an. Der nächste Befehl richtet eine Route für das Präfix auf das Interface ein:

```
netsh interface ipv6 add route 2001:db8::/64 "LAN-Verbindung" publish=yes
```

Ein weiterer Befehl aktiviert auf der Netzwerkschnittstelle das Advertisement, sodass der Windows-Rechner ab sofort den LAN-Präfix im Netzwerk verteilt:

```
netsh interface ipv6 set interface "LAN-Verbindung" advertise=enabled
```

Soll der Rechner tatsächlich IPv6-Pakete weiterleiten, muss dieser Befehl den zusätzlichen Parameter `forwarding=enabled` enthalten. Auf den angeschlossenen Rechnern sollte nun in der Ausgabe von `ipconfig` unter Windows respektive von `ifconfig` unter Linux eine Zeile erscheinen, die eine IPv6-Adresse mit dem Präfix 2001:db8 enthält. Mac OS X zeigt die Adresse auch in den Dialogen der Netzwerkeinstellungen an.

IPv6-Dienste

Arbeitet im Netz beispielsweise ein IPv6-tauglicher SSH-Server, kann man nun per PuTTY oder mit dem Kommando `ssh` auf ihn zugreifen. Ob der SSH-Server IPv6 spricht, verrät der lokal einzugebende Befehl `netstat -A inet6 -a`. Der Eintrag `AddressFamily=inet6` in der Datei `/etc/ssh/sshd_config` zwingt SSH, ausschließlich über IPv6 Daten zu transportieren. Per Vorgabe nutzt der Server beide Protokollversionen.

Besteht das Netz aus mehreren Vista-Rechnern, sollte man im Idealfall in der Netzwerkumgebung die Freigaben der anderen Computer sehen. Der Dateiaustausch über das IPv6-Netzwerk unter Vista-Rechnern funktionierte in unserem Test reibungslos. Das in Debian und Ubuntu mitgelieferte Samba-Paket war per IPv6 nicht zu einer Zusammenarbeit mit Windows Vista zu überreden.

LAN 6.0

Will man zwischen Windows und Mac OS X Dateien tauschen, muss IPv4 im Netz aktiv bleiben. Ein Ausweg sind die verschiedenen FTP-Server. Mac OS X bietet Dateien per Apple Filing Protocol (AFP) auch über IPv6 an, was allerdings nur Mac-Clients verstehen. Einen Versuch sind möglicherweise Anleitungen wie die von David Holder – Samba und Vista mit IPv6 – wert, die Samba nachträglich mittels `xinetd` IPv6-tauglich machen.

Beim Drucken über das Netzwerk sieht es dank Internet-Printing-Protokoll etwas besser aus: Der Druckserver CUPS steht für Unix und Mac OS X bereit, sodass IPv6-Clients Druckaufträge sicher abliefern können.

Sehr viele Linux- und Unix-Server, die in den aktuellen Distributionen enthalten sind, sprechen bereits das IPv6-Protokoll. Dazu zählen Webserver wie Apache in Version 2, der DNS-Server BIND, die Terminal- und Dateitransfer-Software SSH und zahlreiche andere

Programme. Eine [Liste](#) der unterstützten Programme findet sich bei deepspace6. Allerdings entwickeln sich die dort erwähnten Programme ständig weiter, sodass die Seite nicht immer auf dem allerneuesten Stand ist.

Zentrale Adressvergabe

Der Router verteilt bei der zustandslosen Konfiguration (Stateless Autoconfiguration) nur das Netzwerk-Präfix und die Größe der Pakete ([MTU](#)) – Einstellungen wie die Netzwerk-Gateway und DNS müssen entweder per Hand nachgetragen oder über einen DHCPv6-Dienst erfragt werden.

Für ein LAN, das nicht per IPv6 ans Internet angeschlossen ist, reicht die zustandslose Konfiguration völlig aus. Auf DHCPv6 gehen wir daher hier nicht weiter ein – siehe dazu [RFC 4704](#).

Decknamen

Für ein Versuchsnetz lohnt sich die Einrichtung eines DNS (Domain Name System) eigentlich nicht. Wer es trotzdem versuchen will, muss gegenüber dem von IPv4 Gewohnten [wenig Neues lernen](#): Ein zusätzlicher Eintrag (AAAA Record) nimmt die neuen Informationen auf – das wars auch schon. Daneben hat Microsoft für die Namensauflösung PNRP (Peer Name Resolution Protocol) vorgeschlagen, das das Problem ähnlich wie das [Bonjour-Protokoll](#) (siehe auch [für Entwickler](#)) dezentral lösen will.

Einfacher und schneller ist die Textdatei hosts auf den angeschlossenen Rechnern angepasst: Sie liegt unter Unix-ähnlichen Betriebssystemen im Verzeichnis /etc. Auf Windows XP und Vista findet man sie im Ordner %WINDIR%\system32\drivers\etc.

Pro Zeile nimmt die Datei jeweils eine IP-Adresse und einen symbolischen Namen für diese Adresse auf, etwa in der Form 2001:db8::1 ip6_router. Ruft man das Linux-Kommando ping6 (unter Windows ping -6) nun mit dem gewählten Alias-Namen statt der IPv6-Adresse auf, antwortet der Rechner mit ICMP-Nachrichten, und auch andere Dienste wie beispielsweise Webserver sind mit diesem Namen ansprechbar.

Fazit

Das kommende Internetprotokoll bringt bei der Einrichtung von Netzen interessante Funktionen mit. Ein tatsächliches Plug & Play auf dem Ethernet-Kabel bietet es allerdings nicht. Die zustandslose Konfiguration und die bereits nach dem Rechnerstart vorhandenen verbindungslokalen Adressen vereinfachen jedoch die Einrichtung eines lokalen Netzwerks deutlich. Nutzt man ausschließlich das aktuelle Windows-Betriebssystem oder Mac OS X in einem Netz, kann die Umstellung auf IPv6 sinnvoll sein. Der Dateiaustausch funktioniert dort reibungslos. Werkelt jedoch ein Zoo von Linux-Boxen, Mac-Rechnern und Windows-PCs im LAN, reicht das neue Protokoll für die Aufgaben eines lokalen Netzes noch nicht vollständig aus. Dazu fehlt einigen wichtigen Anwendungen wie beispielsweise dem Dateiserver Samba noch die vollständige Unterstützung für IPv6. Beim Internet-Zugang sieht es allerdings anders aus. Einige Anbieter stellen kostenlose IPv6-Tunnel bereit und vereinzelt bekommt man sogar echte DSL-Internet-Zugänge samt Adressbereich für das zukünftige Internetprotokoll.